

**ANALISIS PERBANDINGAN MATERIAL ROTOR CORE
DALAM PEMODELAN PMSG 12 SLOT 8 KUTUB**



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I

Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Oleh:

HANA LAELI TSANI

D 400 170 124

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PERBANDINGAN MATERIAL ROTOR CORE DALAM PEMODELAN
PMSG 12 SLOT 8 KUTUB**

PUBLIKASI ILMIAH


Oleh:

HANA LAELITSANI

D.400.170.124

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

 acc 12/7-21

Aris Budiman. ST. MT

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PERBANDINGAN MATERIAL ROTOR CORE DALAM PEMODELAN
PMSG 12 SLOT 8 KUTUB

OLEH

HANA LAELITSANI

D400 170 124

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 24 Juli 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Peguji:

1. Aris Budiman, ST. MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agus Supardi, ST. MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Tindyo Prasetyo, ST. MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK.892

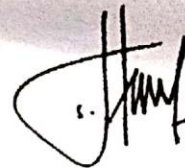
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 24 Juli 2021

Penulis



HANA LAELITSANI

D 400 170 124

ANALISIS PERBANDINGAN MATERIAL ROTOR CORE DALAM PEMODELAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG) 12 SLOT 8 KUTUB

Abstrak

Indonesia merupakan negara maritim dengan potensi angin cukup bagus walaupun tidak sebagus negara sub-tropis. Saat ini konsumsi listrik di Indonesia masih menggunakan bahan energi dari hasil konversi sumber daya yang tidak terbarukan dan ketersediaannya sudah sangat sedikit. Potensi energi baru terbarukan yang mudah didapat di Indonesia yaitu energi angin, dan cara pemanfaatannya yaitu dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan menggunakan generator skala mikro. Generator itu sendiri berfungsi dalam pengubahan energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Salah satu generator yang bagus untuk digunakan yaitu generator magnet permanen dengan fluks tiga fasa. Pada topik kali ini generator yang digunakan yaitu permanen magnet synchronous generator (PMSG) 12 slot 8 kutub. Tujuan dalam penelitian yaitu untuk mengetahui perbandingan efisiensi material yang terdapat pada generator dengan menggunakan software Magnet 7.5, yang kemudian hasil simulasi berupa data lalu dilakukan analisis sehingga dapat diketahui efisiensi material mana yang lebih baik. Rotor core merupakan inti pada generator, dimana pada simulasi kali ini ada beberapa pilihan material rotor core, yaitu: Carpenter Silicon Steel dan TR52:USS Transformer 52—29 gage dengan menambahkan variasi RPM dan beban pada generator. Hasil dari simulasi yang telah dilakukan menghasilkan nilai tegangan tertinggi yaitu 89 volt yang diperoleh dari kecepatan putar pada 5000 rpm.

Kata kunci: Generator, PMSG, 12 slot 8 kutub, Magnet Infolytica

Abstract

Indonesia is a maritime country with good wind potential, although not as good as sub-tropical countries. Currently, Indonesia's electricity consumption is still based on the conversion of nonrenewable resources, and its availability is limited. Wind energy has a lot of promise for renewable energy in Indonesia, and one way to utilise it is to create a Wind Power Plant (PLTB). Using a micro-scale generator is a good way to go. Using electromagnetic induction, the generator converts mechanical energy into electrical energy. A permanent magnet generator with three-phase flux is an useful generator to employ. The generator utilized in this topic is a 12 slot 8 pole permanent magnet synchronous generator (PMSG). The goal of the research is to compare the material's efficiency included in the generator utilizing Magnet 7.5 program's software, the simulation results are in the form of data, and then analysis is performed to evaluate which efficiency material is best. The rotor core is the generator's core, and there are numerous rotor core materials to choose from in this simulation, including: Carpenter Silicon Steel with TR52:USS Transformer 52-29 gage by varying the generator's RPM and load. The highest voltage value of 89 volts was produced with a spinning speed of 5000 rpm, according to the findings of the simulations.

Keywords: Generator, PMSG, 12 slots 8 poles, Magnet Infolytica

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mempunyai luas perairan yang sangat luas daripada wilayah dataran. Oleh karena itu Indonesia dikenal dengan sebutan negara maritim yang mana potensi angin di negara Indonesia cukup bagus namun tidak sebagus negara sub-tropis. Indonesia setiap tahun selalu mengalami peningkatan dalam mengkonsumsi listrik yang disebabkan oleh peningkatan penduduk. Listrik merupakan sumber energi wajib bagi kebutuhan sehari-hari di beberapa sektor. Misalnya pada sektor industri, serta sektor usaha baik skala mikro maupun makro akan membutuhkan energi listrik untuk sumber penggerak.

Saat ini Indonesia masih menggunakan bahan energi dari hasil konversi sumber yang tidak terbarukan dan ketersediaannya tinggal sedikit. Potensi energi baru terbarukan di Indonesia cukup banyak salah satunya yaitu energi angin. Pemanfaatan energi angin yaitu membuat Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang memanfaatkan generator skala mikro. Komponen pada PLTB sendiri yaitu turbin angin, generator dan baterai.

Penggunaan generator sendiri berfungsi sebagai pengubah energi, dari energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan induksi elektromagnetik. Salah satu generator yang baik untuk pengubah energi angin yaitu dengan menggunakan generator permanen dengan fluks tiga fasa. Penggunaan generator tipe itu memudahkan dalam mendesain generator dan dapat bekerja meskipun dengan putaran yang rendah. Memvariasikan model arah magnet, jumlah lilitan, bahan material dan masih banyak lagi merupakan cara untuk mempermudah dalam pengembangan dan pembuatan generator untuk mengikuti perkembangan zaman. Pada penelitian kali ini material rotor core merupakan variabel perbandingan utama, yaitu antara TR52: USS Transformer 52—29 Gage dan Carpenter Silicon Steel dengan memvariasi kecepatan RPM dan beban. Pemilihan kedua bahan tersebut karena kedua bahan itu sangat baik dalam menghantarkan flux magnet dan dapat menghasilkan hasil yang baik juga. Karakteristik dari kedua bahan yaitu merupakan bahan logam ferromagnetik, dan merupakan bahan semi konduktor. Perbedaan dari kedua bahan hanya terletak pada kekuatan bahan.

Perkembangan generator tidak lepas dari sebuah aplikasi yang dapat digunakan untuk mendesain dengan mudah mesin-mesin listrik. *Software Magnet Infolytica 7.5* merupakan sebuah software yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). Yang mana FEM sendiri adalah metode numeric untuk dipakai dalam menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa. Salah satunya yaitu untuk menghitung distribusi dari

medan elektromagnetik secara kompleks, metode ini juga bisa digunakan untuk menganalisa distribusi akan adanya *flux linkage* dari magnet permanen untuk menghitung parameter seperti cogging, armature dan nilai induktansi.

Penelitian M. Choirul Anam dkk dalam merancang generator 100 watt menggunakan *software Magnet Infolytica*. Disini peneliti menggunakan kombinasi 12 slot 8 pole dengan diameter 13 cm, ketebalan 5 cm, serta menggunakan 12 lilitan dan dengan putaran 100 rpm. Menghasilkan tegangan 21,65 volt dan arus 0 ampere ketika tanpa beban, dan untuk rancangan dengan beban menghasilkan tegangan output 23,89 volt dan arus 5 ampere.

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui material mana yang lebih bagus digunakan dengan memvariasikan beban dan kecepatan RPM.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode perancangan generator PMSG 12 slot 8 kutub kemudian melakukan percobaan dengan memvariasi bahan material, kecepatan putar, dan beban. Selanjutnya setelah memvariasi akan mendapatkan data yang kemudian dilakukan analisa.

Langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Studi Literatur.

Adalah tahap untuk memperoleh gambaran dalam melaksanakan penelitian dengan mencari jurnal dan beberapa referensi.

2. Permodelan Generator 12S8P Full Model

Pemodelan generator 12S8P full model merupakan tahap yang dilakukan penulis dalam melakukan pembuatan model full model generator 12S8P menggunakan *software Magnet Infolytica 7.5*.

3. Simulasi Generator

Simulasi generator yaitu penulis mensimulasikan generator dengan mengubah variasi pada beban, kecepatan rpm serta material yang digunakan pada rotor core. Data akan muncul sesuai dengan yang dibutuhkan.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data yaitu memasukan hasil dari simulasi generator ke Microsoft Excel kemudian dilakukan perbandingan data yang telah dihasilkan.

5. Analisa Hasil dan Pembahasan

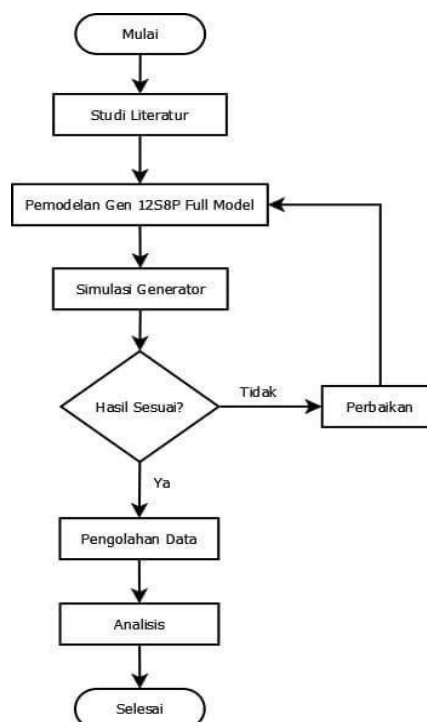
Data yang telah dimasukan ke Microsoft Excel kemudian di analisa material mana yang lebih bagus digunakan ketika melakukan permodelan generator synchronous.

6. Studi Bimbingan

Pada tahap studi bimbingan penulis melakukan bimbingan dari mencari judul yang baik hingga penyusunan proposal dan melakukan diskusi dengan dosen pembimbing apakah laporan dan judul sudah bagus untuk dijadikan sebagai tugas akhir.

7. Pembuatan laporan

Penulis membuat laporan penelitian tugas akhir yang merupakan hasil dari penelitian.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Gambar 1 merupakan gambaran tahap - tahap dalam melakukan penelitian.

2.2 Perancangan Generator

Dalam melakukan perancangan generator kita akan memperhatikan beberapa aspek yang penting dalam perancangan antara lain: rotor, stator, magnet, coil dan masih banyak lagi. Perancangan akan dibuat dalam software

Magnet Infolytica 7.5 berbasis Finite Element Method (FEM). Pada pembuatan generator tidak lepas dari spesifikasi utama sebagai gambaran akan bagaimana output yang diharapkan, spesifikasi itu antara lain:

Tabel 1. Spesifikasi utama generator

Besaran	Nilai
Kapasitas Daya	500 Watt
Tegangan Maksimum	180 volt
RPM	1000 RPM
Jumlah Slot	12
Jumlah Kutub	8

Setelah mengetahui ketentuan awal dalam perancangan untuk generator, selanjutnya yaitu menentukan parameter untuk melakukan simulasi generator adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Variabel uji coba generator

		TR52: USS
		Carpenter Silicon Steel Transformer 52—29
		gage
Variasi RPM	1000 RPM	1000 RPM
	2000 RPM	2000 RPM
	3000 RPM	3000 RPM
	4000 RPM	4000 RPM
	5000 RPM	5000 RPM
Variasi Beban	7 Ω	7 Ω
	25 Ω	25 Ω

Untuk mengetahui material mana yang lebih bagus untuk digunakan maka dilakukan simulasi sesuai dengan parameter yang telah tertera pada tabel. Untuk melakukan simulasi ini kecepatan putar akan diuji dengan kecepatan diantara 1000 RPM sampai dengan 5000 RPM, karena kecepatan sinkron pada generator yang kemudian melakukan variasi pada beban sesuai dengan yang kita inginkan.

2.3 Persamaan Daya Keluaran dan Torsi Generator

a. Torsi generator

$$\omega = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \dots\dots\dots (1)$$

$$K_e = \frac{V}{\omega} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{dimana } K_t = K_e \qquad T = K_t \cdot I$$

keterangan : ω : kecepatan sudut (rad/sec)
 n : kecepatan (rpm)
 K_e : konstanta EMF
 K_t : konstanta torsi
 T : torsi
 I : arus (ampere)

b. Daya generator

$$P_{In} = \tau \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: P_{In} : daya masuk (W)
 τ : Torque (Nm)
 n : kecepatan (rpm)

$$P_{out} = I \times V \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: P_{out} : Daya Keluar (W)
 I : Arus (A)
 V : Tegangan (V)

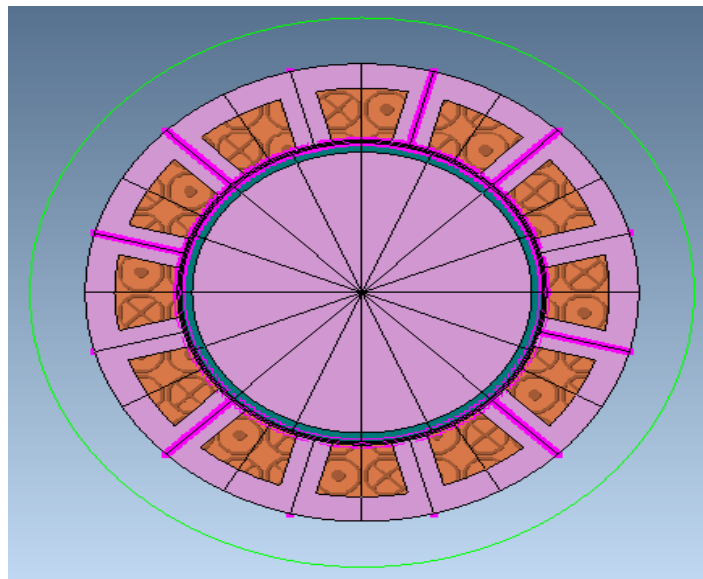
c. Efisiensi generator

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

dimana: η : Efisiensi
 P_{out} : Daya Keluar (W)
 P_{in} : Daya Masuk (W)

Setelah mengetahui parameter untuk merancang generator serta rumus yang telah di dapat maka langkah selanjutnya yaitu merancang pada *software Magnet Infolytica*, yang merupakan laboratorium virtual karena kita dapat membuat perancangan generator dengan memodifikasi generator dengan

memilih material dan beban yang dibutuhkan. Berikut merupakan hasil perancangan generator 12 slot 8 kutub.



Gambar 2. Generator 12S8P full model

3. HASIL DAN PEMBAHASAN.

Generator merupakan sebuah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sumber energi dapat berupa angin, air, uap dan lain-lain. Gaya gerak listrik dengan induksi elektro magnetik yang diubah menjadi tenaga listrik dihasilkan dari generator. Maka generator merupakan sebuah komponen utama pada pembangkit listrik dan komponen utama pada generator merupakan stator dan rotor.

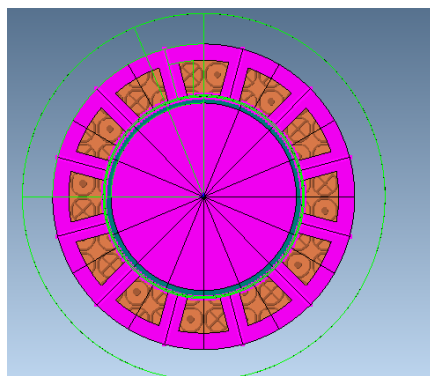
Generator *permanent magnet* memiliki prinsip kerja yang sama dengan generator sinkron tetapi pada rotor kumparan medan diubah dengan *permanent magnet*. Bagian generator yang memiliki fungsi berputar yaitu rotor. Dimana rotor pada generator permanen magnet merupakan tempat tersusunnya magnet permanen yang digunakan sebagai pembangkit medan magnet yang diperlukan oleh pembangkit. Komponen lain yang ada di stator yaitu kumparan/ lilitan yang biasa disebut dengan *coil*.

Flux linkage merupakan keluaran dari flux yang ditangkap oleh tembaga (coil). Besarnya nilai flux magnet berpengaruh pada nilai EMF yang dibangkitkan. Menurut hukum Faraday, yang sudah diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming. Merupakan metode mneumonik yang mudah dalam menentukan arah vektor dari ketiga

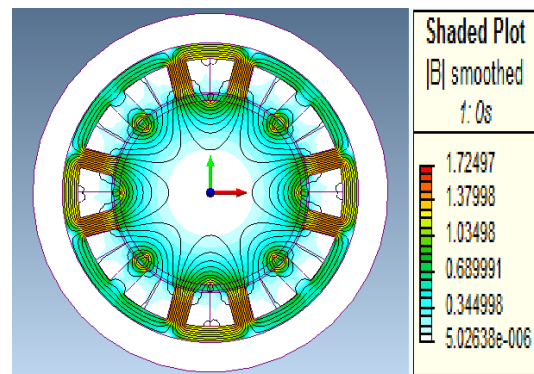
komponen hukum Faraday, yaitu arah gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik.

3.1 Pemodelan Generator magnet permanen 12 slot 8 kutub

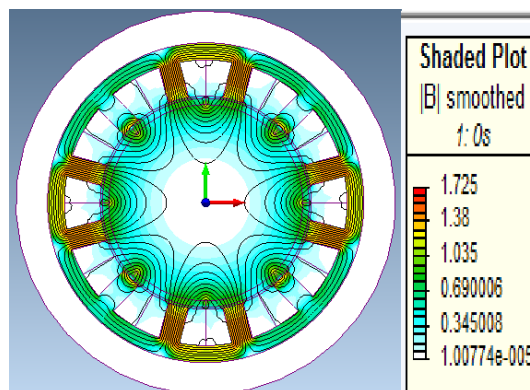
Pada perancangan kali ini yaitu dengan merancang generator 12 slot 8 kutub dengan pergerakan generator 360° yang perputarannya per 3° . Untuk mengetahui keluaran yang diperoleh maka digunakan kecepatan putar pada generator yaitu dengan kecepatan 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 RPM.



Gambar 3. Full model generator permanen magnet 12S8P



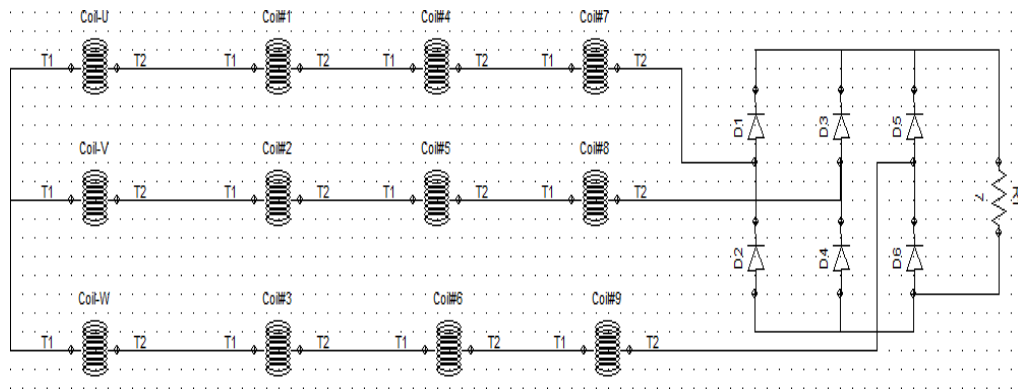
Gambar 3a. Carpenter silicon steel



Gambar 3b. Rotor Core: TR52: USS Transformer 52—29 Gage

Gambar 3 merupakan hasil perancangan pada generator permanen 12 slot 8 kutub, dan untuk gambar 3a dan 3b merupakan hasil dari proses solving yang berupa aliran fluks magnet dengan berbagai warna yang ada pada gambar karena kerapatan fluks yang berbeda- beda di setiap daerah penyebarannya.

3.2 Rangkaian Pembebanan



Gambar 4. Rangkaian pembebanan

Untuk dapat melakukan simulasi dengan output yang kita inginkan maka kita harus membuat sebuah rangkaian. Karena pada simulasi kali ini terdapat pengujian pada variasi beban juga maka kita harus membuat rangkaian pembebanan dalam *software Magnet Infolytica*. Berikut rangkaian yang telah di rangkai pada *software Magnet Infolytica*.

3.3 Tabel Hasil Perhitungan

Langkah selanjutnya setelah kita merangkai untuk pembebanan lalu kita melakukan simulasi agar dapat mengetahui hasil keluaran dari penelitian kali ini, setelah data didapatkan kemudian untuk mengetahui daya masukan, daya keluaran, dan efisiensi maka harus melakukan perhitungan secara manual. Berikut adalah hasil dari perhitungan yang telah dilakukan:

3.3.1 RPM 1000 RPM

Tabel 3. Hasil perhitungan pada kecepatan 1000 RPM

Material	Beban	Pin	Pout	Efisiensi
Carpenter Silicon Steel	7 ohm	211.74	40.67	0.19
	25 ohm	196.86	11.6	0.05
TR52:USS Trans 52--29 gage	7 ohm	466.95	172.92	0.106
	25 ohm	406.34	49.91	0.049

3.3.2. 2000 RPM

Tabel 4. Hasil perhitungan pada kecepatan 2000 RPM

Material	Beban	Pin	Pout	Efisiensi
Carpenter Silicon Steel	7 ohm	466.89	172.92	0.37
	25 ohm	406.35	49.91	0.12
TR52:USS Trans 52--29 gage	7 ohm	466.95	172.92	0.106
	25 ohm	406.34	49.91	0.049

3.3.3 3000 RPM

Tabel 5. Hasil perhitungan pada kecepatan 3000 RPM

Material	Beban	Pin	Pout	Efisiensi
Carpenter Silicon Steel	7 ohm	789.76	399.68	0.5
	25 ohm	614.44	114.85	0.18
TR52:USS Trans 52--29 gage	7 ohm	789.69	399.68	0.3
	25 ohm	614.42	114.85	0.112

3.3.4 4000 RPM

Tabel 6. Hasil perhitungan pada kecepatan 4000 RPM

Material	Beban	Pin	Pout	Efisiensi
Carpenter Silicon Steel	7 ohm	1265	706.68	0.55
	25 ohm	861.9	204.75	0.23
TR52:USS Trans 52--29 gage	7 ohm	1264.93	706.68	0.44
	25 ohm	861.88	204.75	0.19

3.3.5 5000 RPM

Tabel 7. Hasil perhitungan pada kecepatan 5000 RPM

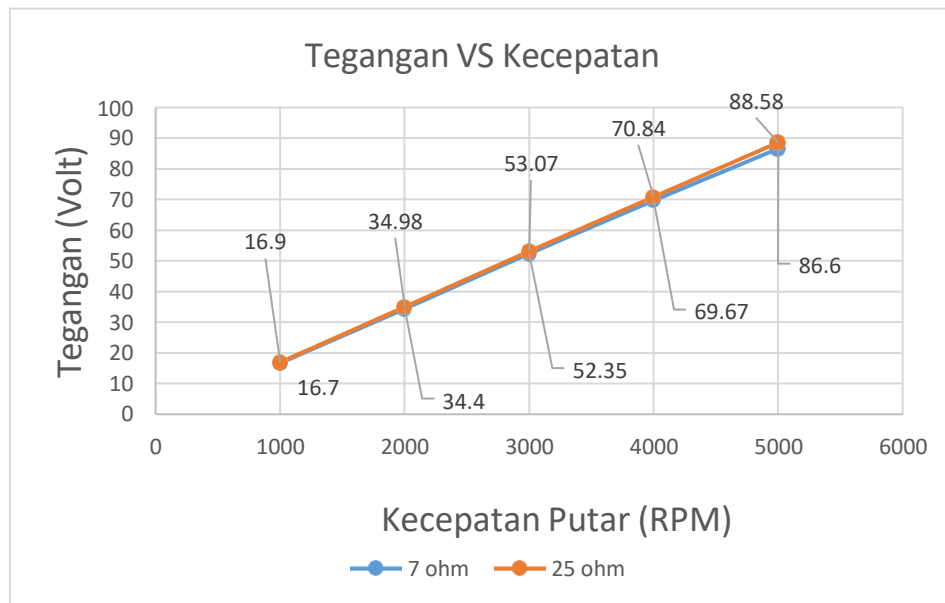
Material	Beban	Pin	Pout	Efisiensi
Carpenter Silicon Steel	7 ohm	1853.09	1091.46	0.58
	25 ohm	1107.38	320.22	0.28
TR52:USS Trans 52--29 gage	7 ohm	1853	1091.46	0.58
	25 ohm	1107.34	320.22	0.28

3.4 Hasil Simulasi variasi beban R dengan kecepatan

Setelah melakukan perancangan maka diperoleh hasil sebagai berikut:

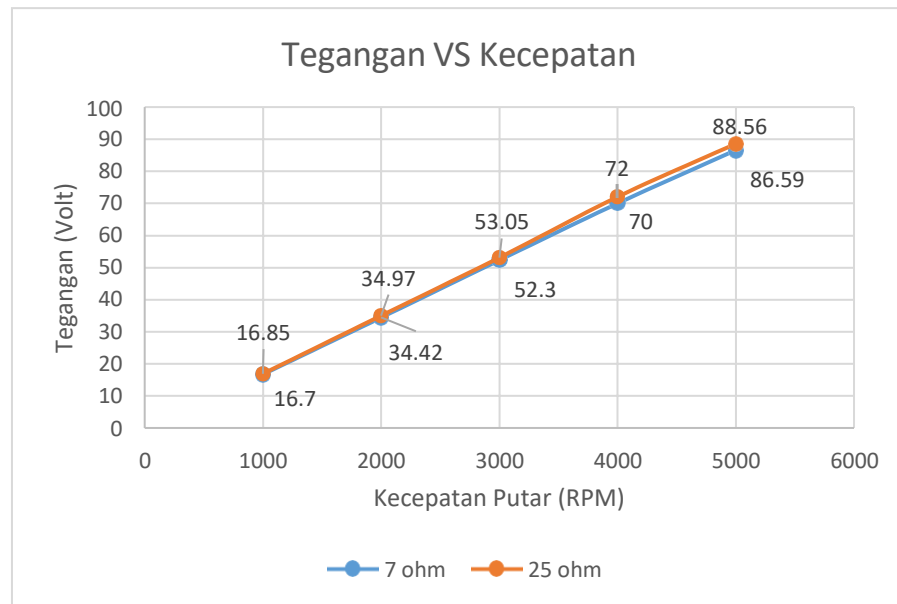
3.3.1 Tegangan

a. Carpenter Silicon Steel



Gambar 5 . Hasil nilai tegangan pada material *Carpenter Silicon Steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52: USS Transformer 52—29 Gage



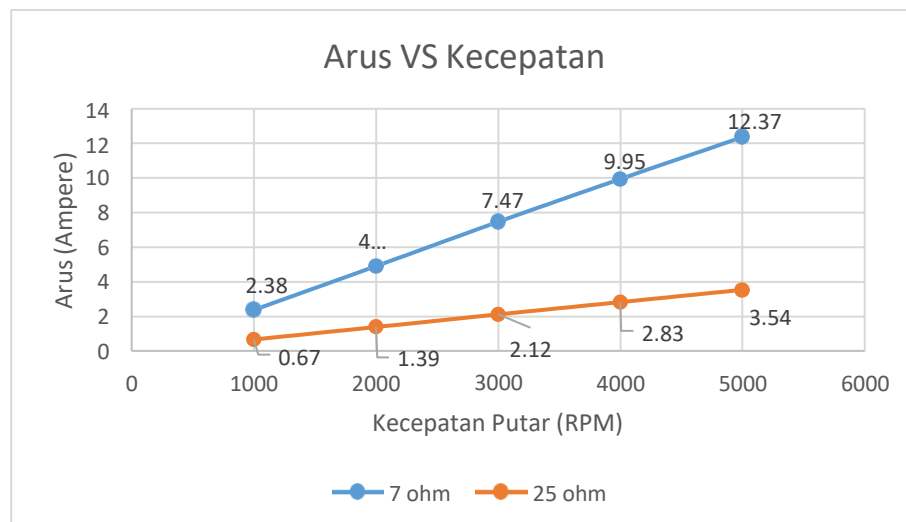
Gambar 6. Hasil nilai tegangan pada material *TR52: USS*

Trasnformer 52—29 Gage dengan variasi beban dan kecepatan putar

Berdasarkan hasil grafik yang telah diperoleh di atas dapat dilihat ketika nilai kecepatan putar dinaikkan nilai tegangan akan semakin tinggi, hal itu berlaku untuk semua material rotor core yang diujikan. Hasil dari percobaan kali ini menghasilkan nilai tegangan tertinggi yaitu 88,58 volt.

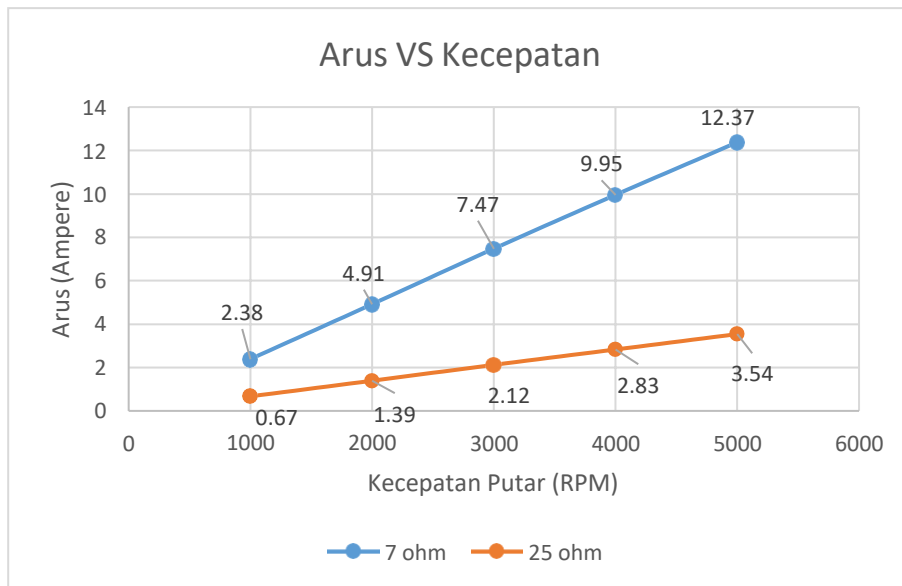
3.3.2 Arus

a. Carpenter Silicon Steel



Gambar 7. Hasil nilai arus pada material *Carpenter Silicon Steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52:USS Transformer 52—29 Gage

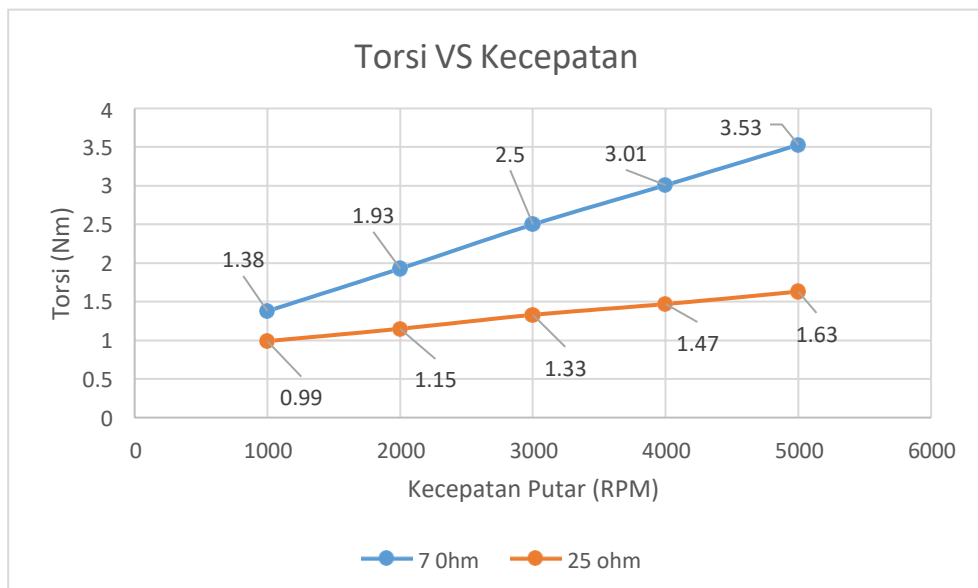


Gambar 8. Hasil nilai arus pada material *TR52: USS Trasnformer 52—29 Gage* dengan variasi beban dan kecepatan putar

Dari hasil data kedua material di atas dapat disimpulkan ketika kecepatan putar dinaikkan maka arus bertambah besar tetapi ketika beban ditambah maka nilai arus akan kecil. Untuk kedua bahan memiliki nilai keluaran arus yang sama..

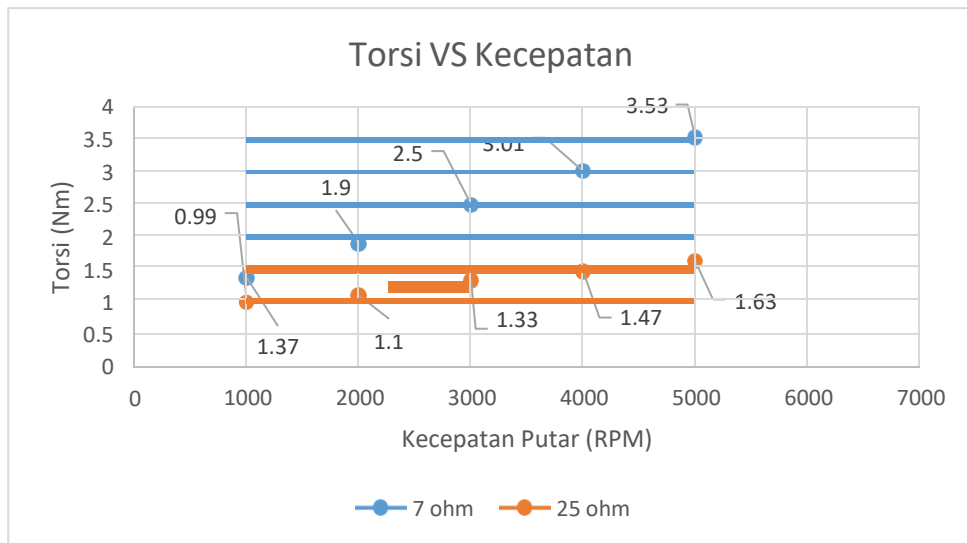
3.3.3 Torsi

a. Carpenter Silicon Steel



Gambar 9 . Hasil nilai Torsi pada material *Carpenter Silicon Steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52: USS Transformer 52—29 Gage

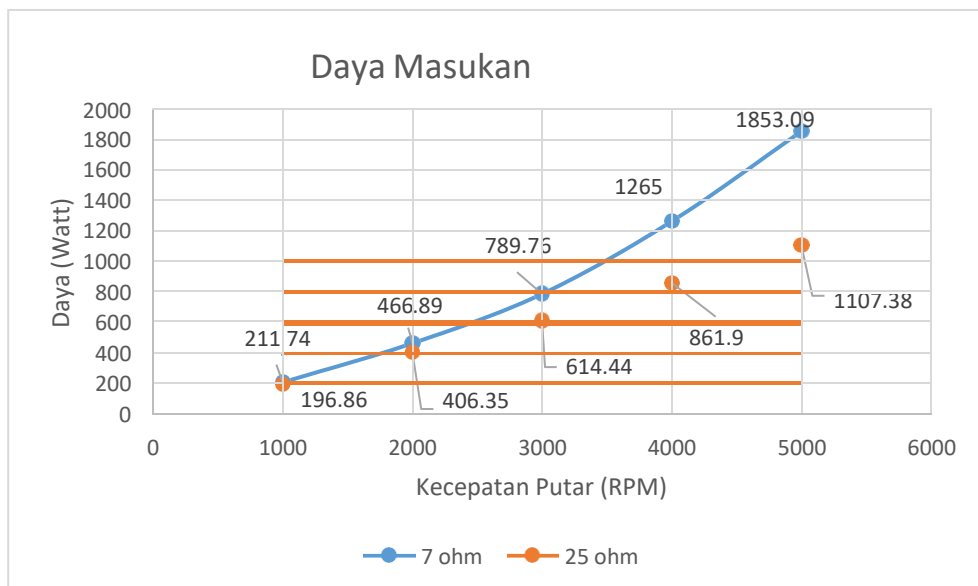


Gambar 10. Hasil nilai torsi pada material *TR52: USS Trasnformer 52—29 Gage* dengan variasi beban dan kecepatan putar

Dari gambar 9 & 10 dapat disimpulkan nilai torsi pada kedua bahan berpola sama. Yang mana ketika kecepatan putar besar maka nilai torsi akan tinggi dan ketika beban yang dimasukkan besar maka nilai torsi akan rendah.

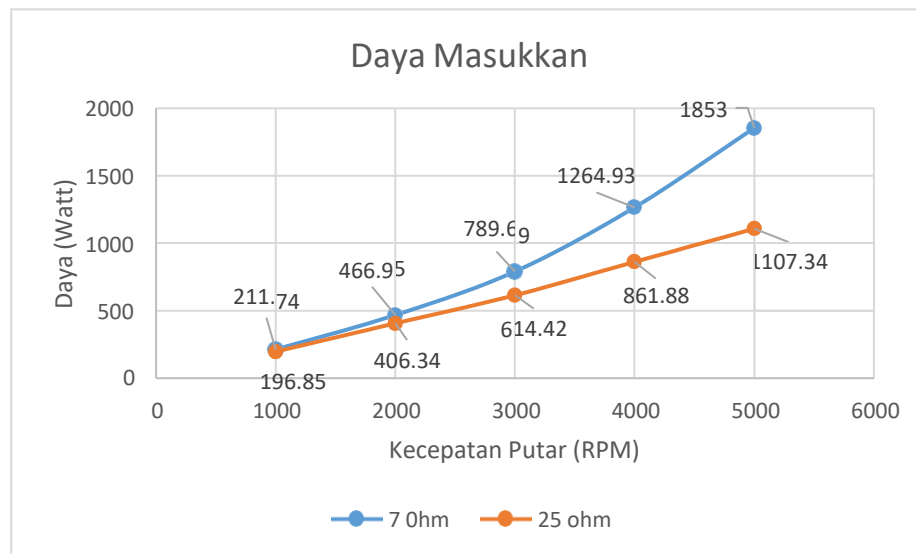
3.3.4 Daya masukan

a. Carpenter silicon steel



Gambar 11. Hasil nilai daya masukan pada material *Carpenter Silicon Steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52:USS Trasnformer 52—29 Gage

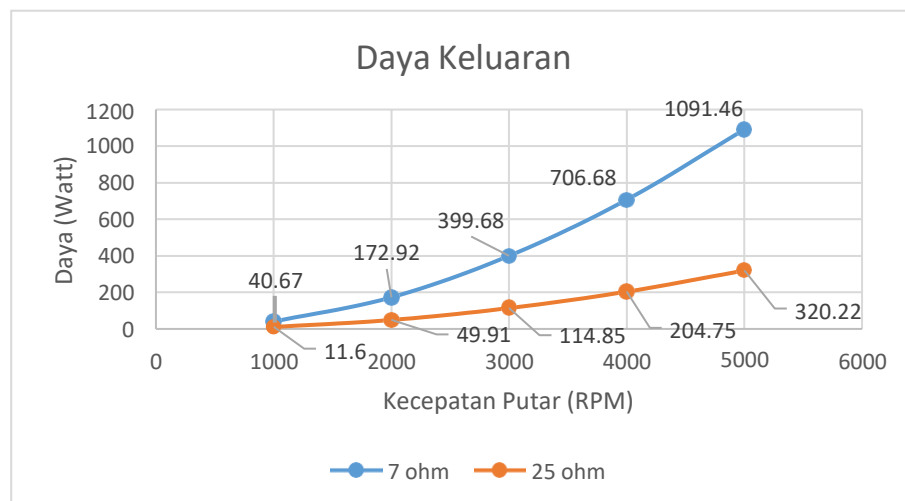


Gambar 12. Hasil nilai daya masukan pada material *TR52: USS Trasnformer 52—29 Gage* dengan variasi beban dan kecepatan putar

Dari gambar 11 &12 dapat disimpulkan ketika nilai RPM semkain tinggi maka nilai dari daya masukam akan bertambah besar teteapi nilai daya masukan akan semakin kecil ketika beban akan semakin di tambahkan.

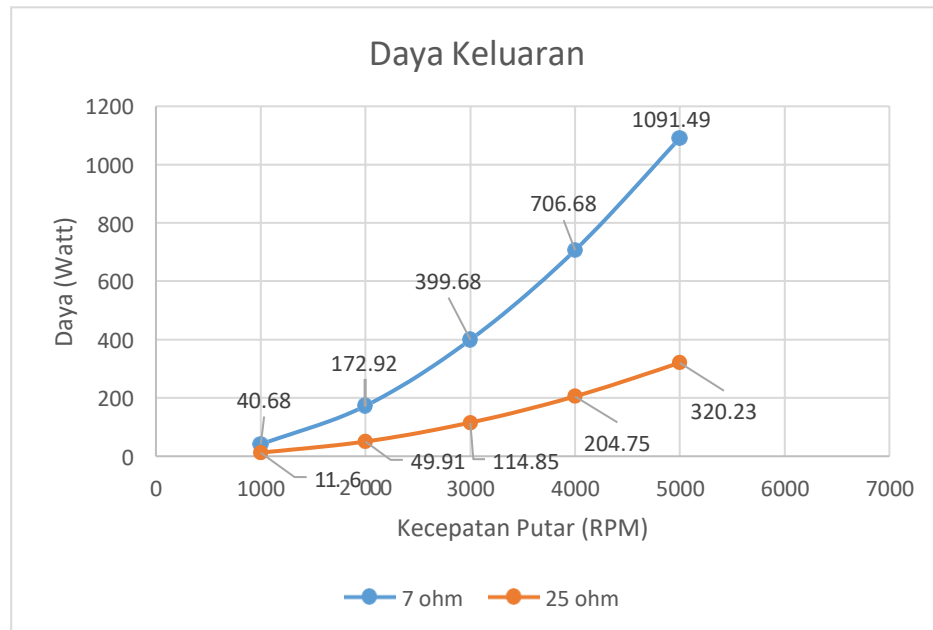
3.3.5 Daya keluaran

a. Carpenter Silicon Steel



Gambar 13. Hasil nilai daya keluaran pada material *Carpenter silicon steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52:USS Transformer 52—29 Gage

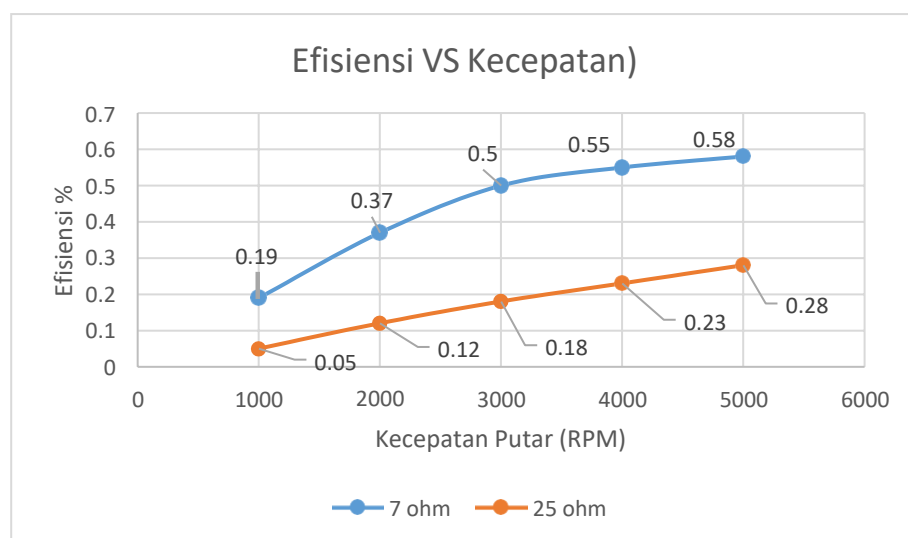


Gambar 14. Hasil nilai daya keluaran pada material *TR52: USS Trasnformer 52—29 Gage* dengan variasi beban dan kecepatan putar

Untuk hasil daya keluaran pada kedua gambar bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar maka daya keluaran akan semakin tinggi pula, tetapi ketika beban semakin besar maka nilai daya keluaran akan bernilai semakin kecil. Daya keluaran terbesar yaitu 1091,49 Watt.

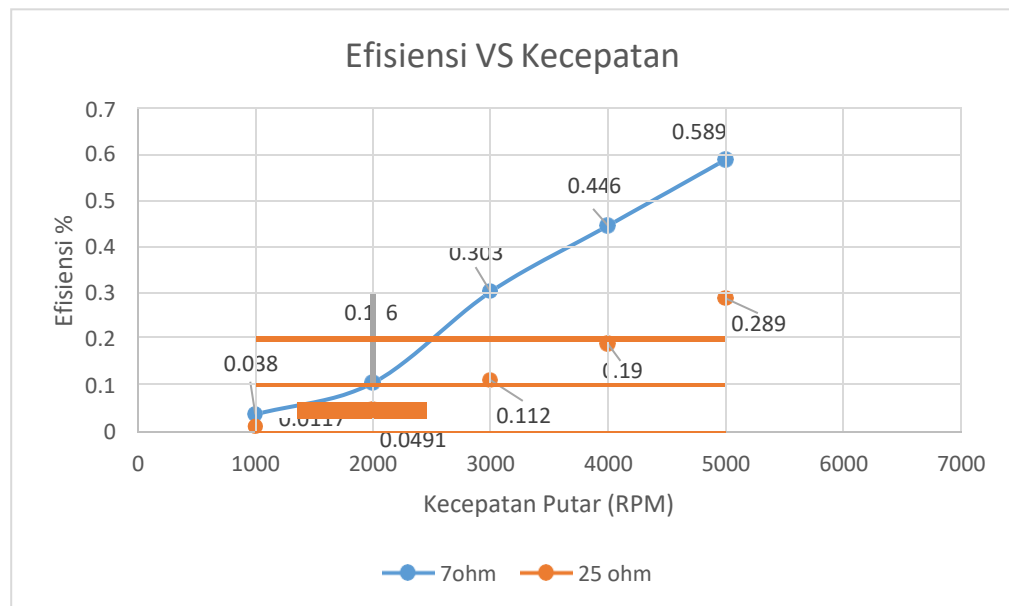
3.3.5 Efisiensi

a. Carpenter silicon steel



Gambar 15. Hasil nilai efisiensi pada material *Carpenter Silicon Steel* dengan variasi beban dan kecepatan putar

b. TR52: USS Transformer 52—29 Gage



Gambar 16. Hasil nilai efisiensi pada material *TR52: USS Trasnformer 52—29 Gage* dengan variasi beban dan kecepatan putar

Dari data gambar 15 dan 16 dapat disimpulkan nilai efisiensi terbesar yaitu 0,58 (Carpenter Silicon Steel). Nilai efisiensi akan bertambah besar ketika kecepatan putar semakin besar juga.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian perbandingan material rotor core diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Generator permanen magnet 12 Slot 8 kutub 3 fasa dirancang full model pada software dengan memvariasikan bahan material rotor core serta beban untuk mengetahui nilai keluaran dari generator.
2. Nilai keluaran generator dapat dipengaruhi oleh kecepatan putar dan besar beban. Semakin tinggi kecepatan putar maka semakin tinggi nilai keluaran generator begitu juga ketika beban yang dimasukkan semakin besar.
3. Nilai keluaran tegangan tertinggi yaitu saat kecepatan putar berada di 5000 RPM dengan beban 25 ohm yaitu sebesar 89 V yang terjadi saat menggunakan material rotor core (Carpenter Silicon Steel)

4. Berdasarkan dari pemilihan kedua material rotor core tersebut, jenis material rotor core *Carpenter Silicon Steel* lebih banyak menghasilkan nilai krluaran daripada jenis rotor core yang lain.
5. Rotor core *Carpenter Silicon Steel* menghasilkan nilai efisiensi sebesar 58% yang merupakan hasil ketika kecepatan putar berada paling tinggi dengan beban yang besar pula.

PERSANTUNAN

Penulis memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Mudammad SAW yang kita tunggu syafaat nya di hari akhir nanti. Ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu dan bapak tercinta. Yang selalu memberikan perhatian, kasih sayang, doa, pengorbanan serta dukungan kepada penulis.
2. Aisyatul Hardzatillah, Kun Aqilatul Auza dan Miska Sausan Fahira yang selalu menyemangati untuk mengerjakan kepada penulis.
3. Bapak Aris Budiman, S.T., M.T selaku dosen pembimbing dalam penulisan tugas akhir ini, yang telah memberikan ilmu, saran, dan pembelajaran yang diberikan. Terimakasih untuk kesabaran dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini sampai akhir.
4. Bapak dan ibu dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah mengajarkan ilmunya selama perkuliahan.
5. Ricky Elson dan tim LBN yang telah memberikan ilmunya serta pengalaman selama disana.
6. Anisa Santy P, Mita Renate, Devi Arum L, Nur Aini DP, Tri Wahyu M, Yusuf SW, dan Triningsih yang selalu mendengarkan keluh kesah serta membantu dan memberikan motivasi pada saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chapman Stephen, M. G. (2010). *Electric Machinery Fundamental 5th*.
- F. Yusivar, d. (2014). Cogging Torque Reduction with Pole Slot Combination and Notch . 2014 *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*, 260-263.
- Hugh, P. (2011). *Wind Power Workshop: Building your Own Wind Turbine, Great Britain Centre for Alternative Technology*.
- Indrawan Arifianto, M. R. (2018). Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5.

- Kholis, M. N. (2020). *Rancangan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 Slot 8 Pole Dengan Menggunakan Software Magnet Infolytica 7.5.*
- Lentera Bumi Nusantara (LBN). (2014). *Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin.* Tasikmalaya, Jawa Barat.
- Lentera Bumi Nusantara (LBN). (2015). *Perancangan Motor Dengan Software Magnet.* Tasikmalaya, Jawa Barat.
- Liliana, d. (2020). Effect of Thickness and Type of Magnet Against EMF Back PMSG 128SP With FEM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.*
- M Irfan, d. (2019). Stator Slotted Design of Axial Flux Permanent Magnet Generator for Low-speed Turbine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.*
- Mechanical Brother. (2011, January 30). Metode Elemen Hingga (Finite Element Methode).
- Muhamad Ranga Hadiswoyo, d. (2018). Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole 1/4 Model. *Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP) 2018 Unpak, ID #12 ISSN: 2252-701X.*
- P. Pillay, R. K. (1989). Modeling, Simulation and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives. I. The Permanent-Magnet Synchronous Motor Drive. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol.25, no. 2, 265-273.
- Prasetyo, Y. (2019). *Analisis Perbandingan Bahan Material Magnet Dalam Pemodelan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 Slot 8 Kutub Dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM) Software.*
- Yao Da, d. (2013). A New Approach to Fault Diagnostics for Permanent Magnet Synchronous Machines Using Electromagnetic Signature Analysis. *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no.8, 4104-4112.